

А. А. Павлов, О. Ю. Нагорная, В. А. Горбунов, В. Ю. Пронин
Ивановский государственный энергетический университет,
г. Иваново olnagornaya@yandex.ru

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ДОМЕННОГО ГАЗА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЗОВОЙ УТИЛИЗАЦИОННОЙ БЕСКОМПРЕССОРНОЙ ТУРБИНЫ

В данной работе проводится анализ влияния влагосодержания доменного газа на энергоэффективность работы газовой утилизационной бескомпрессорной турбины (ГУБТ-25), работающей на влажном доменном газе. Рассмотрено несколько методик определения КПД турбины с учетом влажности доменного газа. Получены зависимости КПД турбины от температуры доменного газа на входе в нее.

Ключевые слова: энергоэффективность; газовая утилизационная бескомпрессорная турбина; КПД турбины; начальная температура газа.

A. A. Pavlov, O. Yu. Nagornaya, V. A. Gorbunov, V. Yu. Pronin
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE MOISTURE CONTENT OF THE BLAST FURNACE GAS ON THE ENERGY EFFICIENCY OF THE GAS UTILIZATION UNCOMPRESSED TURBINE

The influence of the moisture content of the blast furnace gas on the energy efficiency of the gas utilization uncompressed turbine (GUBT-25) working on a wet blast gas is analyzed in the article. Several techniques for determining the efficiency of a turbine with regard to the humidity of a blast furnace gas are considered. The dependences of turbine efficiency on the temperature of the blast furnace gas at the entrance to it are obtained.

Keywords: energy efficiency; gas recycling compressorless turbine; efficiency turbine; initial gas temperature.

В настоящее время на металлургических предприятиях применяются ГУБТ, использующие избыточное давление доменного газа для выработки электрической энергии. Поскольку ГУБТ является утилизационной турбиной, поэтому её работа зависит от работы доменной печи, у которой на колосниковой решётке должно поддерживаться постоянное давление за счёт изменения расхода доменного газа через проточную часть турбины. Турбина является достаточно мощным энергетическим оборудованием, для которого большие изменения режимных параметров весьма не желательны, так как снижается срок его службы и понижается энергетическая эффективность.

В работе рассматривается турбина ГУБТ-25 мощностью 25 МВт. Особенность данной турбины заключается в том, что она работает на предварительно очищенном доменном газе с относительной влажностью 100 % и использует его потенциальную энергию с абсолютным давлением $\sim 290\text{--}305$ кПа. В процессе расширения газа в турбине выделяется капельная влага, которая оказывает существенное влияние на работу турбины.

Основными параметрами доменного газа, которые в значительной степени влияют на увеличение выработки электрической энергии, являются расход доменного газа и температура доменного газа до и после турбины. Повышение температуры доменного газа перед турбиной обеспечит дополнительную выработку электрической энергии, но при этом влажность доменного газа после газовой очистки в любом случае будет равна 100 %, возрастёт влагосодержание доменного газа до и после турбины и, следовательно, снизится его теплотворная способность.

В данной работе проводится анализ влияния влагосодержания доменного газа на энергоэффективность работы турбины ГУБТ-25.

В настоящее время процесс расширения влажного доменного газа в турбине изучен слабо. Уравнения имеют сложную логарифмическую форму и не всегда могут быть применены для расчета процесса в реальной турбине.

Как известно, с увеличением температуры влагосодержание насыщенного газа увеличивается. При этом влагосодержание насыщенного газа можно определить по формуле:

$$d = \frac{R_c}{R_n} \cdot \frac{p_{n,n}}{p_{c,n}}, \quad (1)$$

где R_c и R_n – газовые постоянные газа и пара, Дж/(кг·К); $p_{n,n}$ – давление насыщенного пара при температуре смеси, Па; $p_{c,n}$ – парциальное давление сухого газа, Па.

Для насыщенного доменного газа следующего состава $\text{CO}=18,9\%$, $\text{CO}_2=29,6\%$, $\text{H}_2=0,878\%$, $\text{N}_2=50,6\%$ была построена зависимость влагосодержания доменного газа от температуры (рис. 1).

По данным, полученным при проведении промышленного эксперимента на ГУБТ-25, был построен процесс расширения в $h-d$ диаграмме для нескольких экспериментальных точек. На основании (рис. 2), наблюдаем, что с увеличением температуры доменного газа на входе в турбину количество выделяемой влаги в процессе расширения увеличивается ($\Delta d_1 < \Delta d_2 < \Delta d_3$).

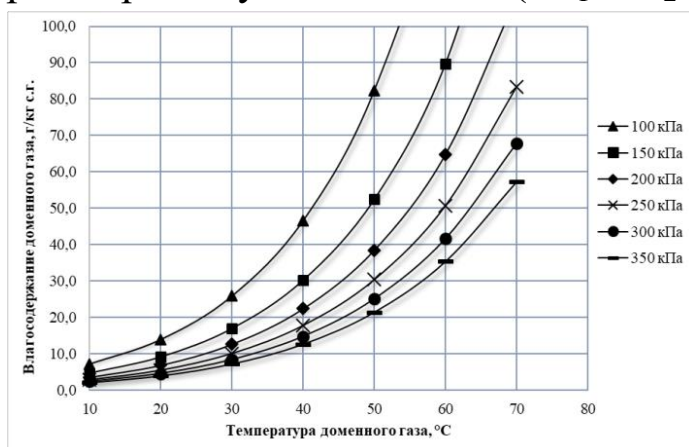


Рис. 1. Зависимость влагосодержания доменного газа от температуры

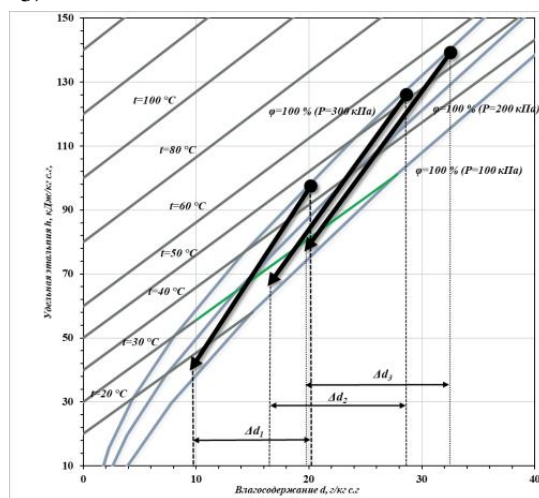


Рис. 2. Построение процесса расширения газа в $h-d$ диаграмме

Для нахождения КПД турбины в пределах экспериментальных данных была использована формула:

$$\eta = \frac{N}{G(P_o - P_k)}, \quad (2)$$

где N – мощность турбины, Вт; G – расход доменного газа, $\text{м}^3/\text{с}$; P_o и P_k – начальное и конечное давление доменного газа, Па.

На основании (2) была построена зависимость КПД турбины от температуры доменного газа на входе в турбину (рис. 3).

КПД турбины также может быть определен по следующим формулам:

$$\eta = \frac{1 - \left(\frac{P_k}{P_o} \right)^{\frac{n-1}{n}}}{1 - \left(\frac{P_k}{P_o} \right)^{\frac{k-1}{k}}} \eta_m \eta_{\varepsilon}, \quad (3)$$

$$T p^{\frac{1-n}{n}} = const, \quad (4)$$

где n – показатель политропы; k – показатель адиабаты; η_m и η_{ε} – механический КПД турбины и электрический КПД генератора, принимаем 0,98.

При совместном решении (3), (4) также была построена зависимость КПД турбины от температуры доменного газа на входе в турбину (рис. 4).

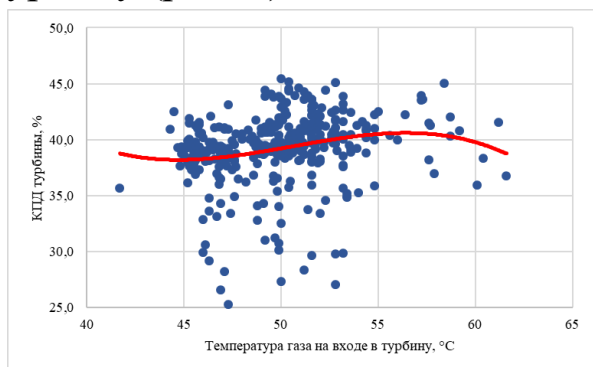


Рис. 3. Зависимость КПД турбины от температуры доменного газа на входе в турбину (формула 2)

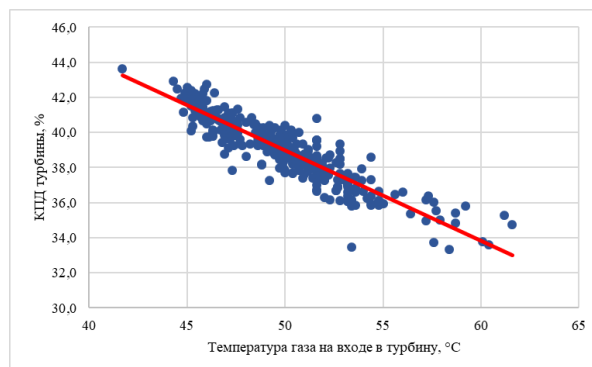


Рис. 4. Зависимость КПД турбины от температуры доменного газа на входе в турбину (формулы 3, 4)

По результатам анализа полученных графиков видим, что зависимость влияния начальной температуры газа, а, следовательно, и влагосодержания доменного газа на КПД турбины носит неоднозначный характер. Поэтому данная проблема требует дополнительного изучения.